

研究種目：基盤研究(C)
 研究期間：2007 年～2008 年
 課題番号：19560094
 研究課題名(和文) 一般化応力拡大係数の解析によるヒトの歯に生じたくさび状欠損の修復法に関する研究
 研究課題名(英文) Study of about the Restoration of Wedge-Shaped Defect in Human Tooth Using Analysis of Generalized Stress Intensity Factors
 研究代表者
 野田 尚昭 (NODA NAO-AKI)
 九州工業大学・工学研究院・教授
 研究者番号：40172796

- (1) 研究成果の概要：ヒトの歯の形状が複雑であることを考慮して、介在物角部に生じる特異応力場の強さを有限要素法で精度良く解析する方法を検討し、ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後の咬合による影響を考察した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・材料力学

キーワード：

1. 研究開始当初の背景

ヒトの歯は(1)エナメル質と(2)象牙質の異なる組織から形成される複合材料とみなすことができる。特に、虫歯などの修復に際して、伝統的な(3)金属系材料や、今日よく用いられる(3')コンポジットレジンが修復材料として用いられる。よって、修復の行われた場合には、弾性定数の異なる3つの材料からなる構造物であることに起因して、それぞれの材料の接合界面には特異応力が生じる。しかし、実際の歯科における治療では、このような力学的な観点からの考察が欠如しており、治療後の修復部を含む構造全体の寿命低下に繋がっている。

2. 研究の目的

本研究では、最近、特に、その治療法の確立が要望されている、くさび状欠損の問題を中心に研究する。そして、その修復法に関して、破壊力学ならびに界面の力学を援用して、材料力学的観点から詳しい考察を行い、治療後の寿命の長い、新しい治療法の開発を目的とする。

3. 研究の方法

図1に示すようなヒトの歯に生じたくさび状欠損の理想的修復法に関する研究について以下の手順で研究を進める、

(1)角部 B に注目する場合：その1(修復に用いるコンポジットレジンの剛性が象牙

質より小さい $E_I/E_M < 1$ の場合)

この場合、まず $E_I/E_M < 1$ であるので、介在物角部の二等分線上での破損が問題になることに注目し、その二等分線上での応力 $\sigma_{y,0,FEM}$ と $\tau_{xy,0,FEM}$ に注目する(図2(緑の矢印)参照)。この値から特異応力場が決定できる。

(2)角部 B に注目する場合：その2 (修復に用いるコンポジットレジン)の剛性が象牙質より大きい $E_I/E_M > 1$ の場合)

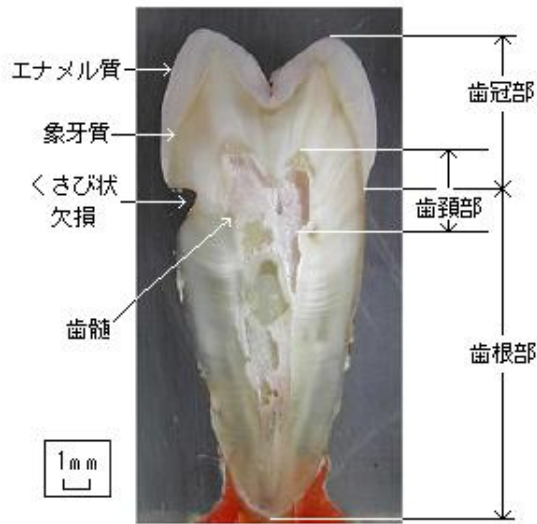


図1 人の歯に生じたくさび状欠損

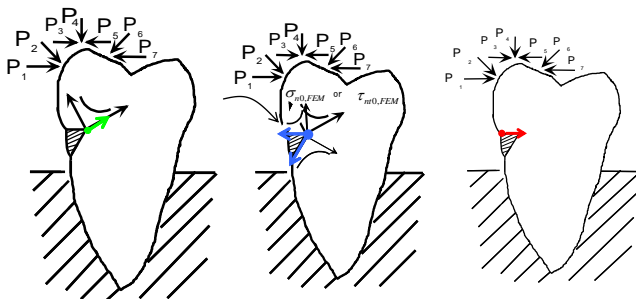


図2 くさび状欠損の角部 B ($E_I/E_M < 1$) 図3 くさび状欠損の角部 B ($E_I/E_M > 1$) 図4 くさび状欠損の端部 A

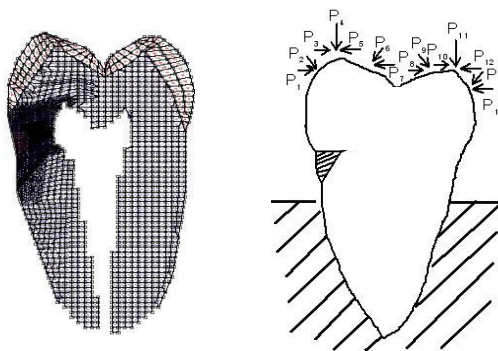


図5 人の歯の有限要素法における要素分割図と解析モデル

このような $E_I/E_M > 1$ の場合には、介在物と母材の界面の破損が問題となることに注目し、その界面上での応力 $\sigma_{n,0,FEM}$ と $\tau_{nt,0,FEM}$ に注目する(図3(青の矢印)参照)。

この値から特異応力場が精度良く決定できる。

(3) 端部 A に注目する場合：

このような端部Aに注目する場合には、介在物と母材の界面の破損が問題となる。そこで、この界面上での応力 $\sigma_\theta|_{\theta=90^\circ}$ に注目する(図4(赤の矢印)参照)。

この値から特異応力場が精度良く決定できる。

(4) 上記の結果を総合的に判断して最も安全な材料と噛合いの条件を提案する。

4. 研究成果

本研究ではヒトの歯の形状が複雑であることを考慮して、介在物角部に生じる特異応力場の強さを有限要素法(FEM)で精度よく解析する方法を検討した。また、ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後の咬合による影響を考察した。結論をまとめると以下のようになる。

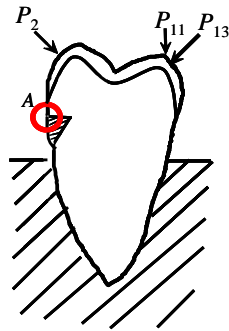
(1) 端部A(図1参照)の特異応力場の強さを正確に求めるため、異種接合板の解析を行った。その結果は、体積力法の解析結果と誤差1.6%以内で一致した。FEM解析により求まる特異応力場は、 $E_I/E_M = 0.1, \nu_I = \nu_M = 0.3$ のとき $l/b = 0.5$ で $\sigma_{\theta A} = 0.575(r/b)^{-2}$ となるが、厳密解では $\sigma_{\theta A} = 0.303(r/b)^{-2}$ である。よってこの結果を用いて補正することにより有限板の厳密解を求めることができる。このような方法で有限板の異種接合板端部Aの特異応力場をFEM解析により求められることを確認した。

(2) 角部B(図1参照)の特異応力場の強さを正確に求めるため、二個の菱形介在物の角部Bの解析を行った。 $E_I/E_M < 1$ では角部の二等分線上の応力に注目した。一方、 $E_I/E_M > 1$ では角部界面の応力の平均値に注目した。その結果 $E_I/E_M < 1$ では体積力法の解析結果と誤差1%以内で一致した。また、 $E_I/E_M > 1$ では体積力法の解析結果と比較すると少し誤差が大きくなり最大で8.7%となった。

(3) くさび状欠損修復後の歯に作用する荷重の位置と方向を変化させて、歯とコンポジットレジンの端部Aに生じる特異応力の強さを調べた結果、剛性比に関係なく最も危険な荷重の位置と方向は P_3 方向であることが

表 1 端部 A の結論
(1) 端部 A おける安全な荷重

E_I/E_M	load
300/1200	P_{13}
500/1200	P_{13}
1000/1200	P_{11}
2000/1200	P_2
2500/1200	P_2



(2) 端部 A おける最も危険な荷重

E_I/E_M	load
300/1200	P_3
500/1200	
1000/1200	
2000/1200	
2500/1200	

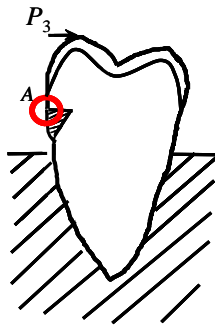
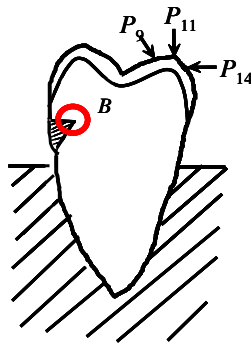


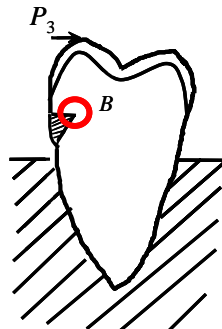
表 2 角部 B の結論
(1) 角部 B おける安全な荷重

E_I/E_M	load
300/1200	P_9
500/1200	P_9
1000/1200	P_{14}
2000/1200	P_{11}
2500/1200	P_{11}



(2) 角部 B おける最も危険な荷重

E_I/E_M	load
300/1200	P_3
500/1200	
1000/1200	
2000/1200	
2500/1200	



わかった (表 1 参照). 一方, 安全な荷重は, 表 1 に示す P_2 と P_{11}, P_{13} であることが明らかとなった. よって, 咬合を調節して, 咬合力の向きを P_2, P_{11} または P_{13} 方向にすれば修復したくさび状欠損の耐久性が上がると思われる.

(4) 図 5 に示すように歯に作用する荷重の位置と方向を変化させて, 角部 B に生じるくさび状欠損修復後の特異応力の強さを調べた結果, 最も危険な荷重の位置と向きは剛性比に関係なく P_3 方向であることがわかった (表 2 参照). 一方, 安全な荷重は表 2 に示す P_9 と P_{11}, P_{14} であることが明らかになった.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

①野田尚昭, 陳 克恭, 田島清司, 高瀬 康, 山口恭輔, 永野裕之, ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後の咬合により生じる特異応力場の強さ (コンポジットレジンの剛性の影響), 日本機械学会論文集, A(2009), (投稿中), 査読有.

②野田尚昭, 陳 克恭, 田島清司, 井元宏美, 堤 拓哉, ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後の咬合により生じる特異応力場の強さ, 材料, 55 巻, pp.1060-1066, (2006), 査読有.

[学会発表] (計 4 件)

①野田尚昭, 高瀬 康, 山口恭輔, 陳 克恭, 田島清司, ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後の咬合によって生じる特異応力場の強さ, M&M2008 材料力学カンファレンス.

②野田尚昭, 陳 克恭, 田島清司, 山口恭輔, 陳 克恭, 原田誠司, ヒトの歯に生じたくさび状欠損修復後における咬合によって生じる特異応力場の強さ (コンポジットレジンの剛性の影響), 日本機械学会九州支部第 61 期講演会.

③山口恭輔, 野田尚昭, 陳 克恭, 田島清司, 陳 克恭, 原田誠司, Generalized Stress Intensity Factors for Wedge-Shaped Defect in Human Tooth after Restored with

Composite Resins, International
Conference on Fracture and Damage
Mechanics 9-11th September 2008, Seol,
Korea.

④野田尚昭, 陳 克恭, 田島清司, 高瀬 康,
山口恭輔, 永野裕之, ヒトの歯に生じたくさ
び状欠損修復後の咬合により生じる特異応
力場の強さ (歯とコンポジットレジンの端部
に生じる特異応力の強さ), 日本機械学会中
国・四国支部第 47 期統合講演会.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野田 尚昭 (NODA NAO-AKI)
九州工業大学・工学研究院・教授
研究者番号：40172796

(2) 研究分担者

陳 克恭 (KER-KONG CHEN)
九州歯科大学・歯学部・講師
研究者番号：20207327

田島 清司 (KIYOSHI TAJIMA)
九州歯科大学・歯学部・講師
研究者番号：60155075